

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-227953

(43)Date of publication of application : 03.09.1996

(51)Int.Cl.

H01L 23/373

H01L 23/473

(21)Application number : 07-310636

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 29.11.1995

(72)Inventor : YAMAMOTO YOSHIYUKI

TANABE KEIICHIRO

OTA YUKIHIRO

FUJIMORI NAOHARU

(30)Priority

Priority number : 06296353 Priority date : 30.11.1994 Priority country : JP

06319969 22.12.1994

06319975 22.12.1994 JP

06319978 22.12.1994

06319982 22.12.1994 JP

JP

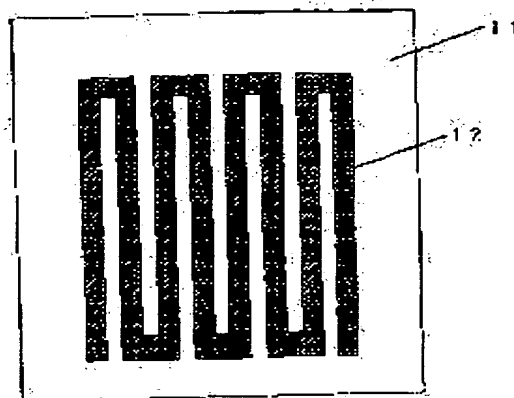
JP

(54) SUBSTRATE AND HEAT SINK USING IT, SEMICONDUCTOR DEVICE, ELEMENT MOUNTING DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a heat sink having high heat dissipation property.

CONSTITUTION: A high heat conductivity substance layer 11 whose heat conduction rate is at least 10W/cm.K is arranged on a base and a flow path 12 for allowing cooling medium to pass through is further provided in a high heat conductivity substance layer side of an interface part of a base high heat conductivity substance layer. Furthermore, a flow path for allowing cooling medium to pass through is provided in a board consisting of a high heat conductivity substance whose heat conduction rate is at least 10W/cm.K.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

2/2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-227953

(43) 公開日 平成8年(1996)9月3日

(51) IntCl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 23/373			H 0 1 L 23/36	M
23/473			23/46	Z

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願平7-310636	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成7年(1995)11月29日	(72) 発明者	山本 喜之 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(31) 優先権主張番号	特願平6-296353	(72) 発明者	田辺 敬一郎 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(32) 優先日	平6(1994)11月30日	(72) 発明者	太田 進啓 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 青山 葆 (外1名)
(31) 優先権主張番号	特願平6-319969		
(32) 優先日	平6(1994)12月22日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願平6-319975		
(32) 優先日	平6(1994)12月22日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

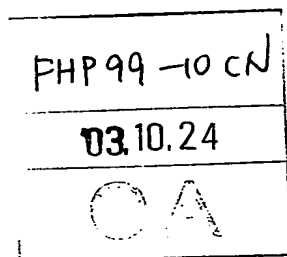
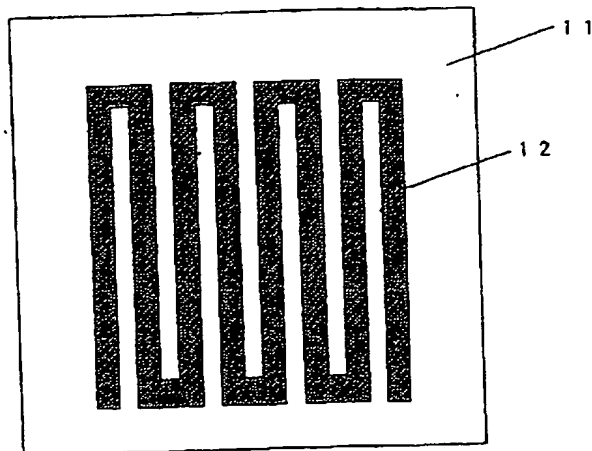
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板およびこれを用いた放熱基板、半導体装置、素子搭載装置

(57) 【要約】

【課題】 高い放熱特性を持っている放熱基板を提供する。

【解決手段】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質層が基材の上に配置され、かつ基材/高熱伝導性物質層の界面部の高熱伝導性物質層側に冷却用媒体を通過させるための流路を備えることを特徴とする基板、ならびに熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質からなる板中に、冷却用媒体を通過させるための流路を備えることを特徴とする基板。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質層が基材の上に配置され、かつ基材/高熱伝導性物質層の界面部の高熱伝導性物質層側に冷却用媒体を通過させるための流路を備えることを特徴とする基板。

【請求項2】 高熱伝導性物質層がダイヤモンドであることを特徴とする請求項1に記載の基板。

【請求項3】 ダイヤモンドが気相合成法により作製されたことを特徴とする請求項2に記載の基板。

【請求項4】 冷却用媒体を通過させるための流路の深さが、 $50\mu\text{m}$ 以上、高熱伝導性物質層の厚さの90%以下であることを特徴とする請求項1に記載の基板。

【請求項5】 冷却用媒体を通過させるための流路の幅が、 $20\mu\text{m}$ 以上 10mm 以下であることを特徴とする請求項1に記載の基板。

【請求項6】 冷却用媒体を通過させるための流路の間隔が、 $20\mu\text{m}$ 以上 10mm 以下であることを特徴とする請求項1に記載の基板。

【請求項7】 冷却用媒体を通過させるための流路の幅(a)と間隔(b)の比が、 $0.02\leq(a/b)\leq 50$ であることを特徴とする請求項1に記載の基板。

【請求項8】 冷却用媒体を通過させるための流路が、基板の中央部から外周部へ螺旋状あるいは放射線状に配置されていることを特徴とする請求項1に記載の基板。

【請求項9】 冷却用媒体を通過させるための流路の表面が、冷却用媒体に対する濡れ性を向上させるように処理されていることを特徴とする請求項1に記載の基板。

【請求項10】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質層が基材の上に配置され、かつ基材/高熱伝導性物質層の界面部の高熱伝導性物質層側に冷却用媒体を通過させるための流路を備えることを特徴とする放熱基板。

【請求項11】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質層が基材の上に配置され、かつ基材/高熱伝導性物質層の界面部の高熱伝導性物質層側に冷却用媒体を通過させるための流路を備え、かつ該高熱伝導性物質層の上部に最大発熱密度 1 W/cm^2 以上の発熱素子を搭載することを特徴とする素子搭載装置。

【請求項12】 前記発熱素子が半導体素子であることを特徴とする請求項11に記載の素子搭載装置。

【請求項13】 前記半導体素子が半導体レーザーであることを特徴とする請求項12に記載の素子搭載装置。

【請求項14】 前記半導体素子がマイクロプロセッサであることを特徴とする請求項12に記載の素子搭載装置。

【請求項15】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質から成る板中に、冷却用媒体を通過させるための1本以上の流路が埋め込まれていることを特徴とする基板。

【請求項16】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱

伝導性物質から成る板中に、冷却用媒体を通過させるための1本以上の流路が埋め込まれていることを特徴とする放熱基板。

【請求項17】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質から成る基板中に、冷却用媒体を通過させるための1本以上の流路が埋め込まれており、かつ基板上に最大発熱密度 1 W/cm^2 以上の少なくとも1つの発熱素子を搭載することを特徴とする素子搭載装置。

【請求項18】 熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質から成る基板中に、冷却用媒体を通過させるための1本以上の流路が埋め込まれている基板が、2枚以上積み重ねられており、かつ各々の基板には1個以上の素子が搭載され、各素子間を接続する金属配線が基板上、あるいは基板中に配置されていることを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板およびこれを用いた放熱基板、半導体装置、素子搭載装置に関する。本発明の基板は、超高速MPU、大出力半導体レーザーなどの半導体素子をはじめとする大きな発熱密度を有する素子を実装し、冷却するのに好適である。素子は、温度の管理を厳密にする必要のあるものであってよく、高密度に配置されていてよい。

【0002】

【従来の技術】海底ケーブルなどに使用される半導体レーザーは、長距離伝送を実現するため、大出力化が進んでおり、それに伴い素子自体の発熱量も急増している。また、情報処理システム等の小型化、処理速度高速化に伴い、これらの機器に内蔵される半導体素子の単位面積当たりの処理能力の向上が急速に進展している。これらのことは、半導体素子の発生する単位面積当たりの熱量の増大を招き、実装する基板を設計する上でその放熱性を確保することの重要性が注目されている。また、これらの素子は、動作温度を厳密に管理する必要があり、素子温度の変化は、例えば、発振波長のずれなどを引き起こす。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】現在パッケージに主として用いられているアルミナなどの材料では、上記のような高性能な素子を実装する際、その放熱特性が問題となる。すなわち、現状パッケージでは、その固有の熱抵抗が大きく、素子自体の発熱を十分に放散させることができずに素子温度が上昇し、その結果素子が誤動作、あるいは暴走をおこすなどの問題が生じる。この問題を解決するためには、前述の通り、より高熱伝導性の材料を用いることが有効であり、現存する物質中もっとも熱伝導率の大きいダイヤモンドも半導体レーザーダイオードなどでは使用されている。

【0004】しかしながら、放熱基板が輸送する熱は最

最終的には外界の空気や冷却水などに伝達して排出しなければならない。搭載する半導体素子などの発生する熱量が大きくなれば、高熱伝導率材料を使用しなければならないのはもちろん、高熱伝導性材料を伝導してきた大量の熱をいかに効率的に基板から放熱するかが重要になる。その為、基板の裏面にフィンや冷却水配管を取り付けて放熱面積、放熱効率の増大を図る工夫がなされている。しかし、基板の裏側に冷却水配管を取り付けるとその取り付け部分に余計な熱抵抗が入るのは防止できないし、フィンではさらに冷却効率が落ちるため、さらに効率的な冷却ができる高い放熱性を持った基板の開発が要請されている。

【0005】近年の半導体素子、特にLSIの処理速度の向上と、ラップトップパソコンなど、携帯情報処理機器の実装技術の進展には、目を見張るものがある。LSIの処理速度の向上は、各チップ間を連絡する配線による信号遅延を無視できないものにした。さらに、携帯情報処理機器へのニーズは、上記LSIの実装密度の急激な上昇をもたらした。

【0006】これら要求を満たす実装基板には、各半導体素子の実質的な実装密度を向上させ、かつ発生する熱を効率よく除去するという、相反する要求を満たす必要があった。そのため、MCM (Multi Chip Module) 基板を初めとする高密度実装技術が開発され、主にスーパーコンピュータのCPUに使用され始めている。

【0007】MCM基板に関しては、現在、最も放熱特性の要求される基板では、AIN基板が使用されている。しかし、AINは、熱伝導率が $2\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 程度であり、今後さらに高密度実装、高発熱密度素子を搭載するためには、対応が難しくなっている。

【0008】特開平4-273466号公報には、ダイヤモンドを用いた3次元集積回路基板において、基板の側面部に穴を設け、冷媒を流す構造が提案されている。しかしながら、この構造では基板の中央付近(実際には最も温度が上昇すると予想される部分)が最も冷媒の通過するところから離れており、効率が悪い。

【0009】

【課題を解決するための手段】そこで本発明者らは、以上のような問題点に鑑み、より冷却効率の大きな放熱基板を得るべく鋭意研究を重ね、高熱伝導性物質に直接冷媒を通すための流路を形成することにより従来の基板よりも格段に放熱効率の向上した基板を得ることに成功した。

【0010】本発明は、熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質層が基材の上に配置され、かつ基材/高熱伝導性物質層の界面部の高熱伝導性物質層側に冷却用媒体を通過させるための流路を備えることを特徴とする基板(例えば、放熱基板)を提供する。また、本発明は、熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質層が基材の上に配置され、かつ基材/高熱伝導性物質層

の界面部の高熱伝導性物質層側に冷却用媒体を通過させるための流路を備え、かつ該高熱伝導性物質層の上部に最大発熱密度 1 W/cm^2 以上の発熱素子を搭載することを特徴とする素子搭載装置を提供する。この素子搭載装置は、基材および高熱伝導性物質層によって形成される基板、ならびに基板の上に搭載された素子を有してなる。

【0011】加えて、本発明は、熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質からなる板中に、冷却用媒体を通過させるための1本以上の流路が埋め込まれていることを特徴とする基板(例えば、放熱基板)を提供する。さらに、本発明は、熱伝導率 $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質から成る基板中に、冷却用媒体を通過させるための1本以上の流路が埋め込まれており、かつ基板上に最大発熱密度 1 W/cm^2 以上の少なくとも1つの発熱素子を搭載することを特徴とする素子搭載装置を提供する。さらに加えて、本発明は、熱伝導率 $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上の高熱伝導性物質から成る基板中に、冷却用媒体を通過させるための1本以上の流路が埋め込まれている基板が、2枚以上積み重ねられており、かつ各々の基板には1個以上の電子素子が搭載され、各電子素子間を接続する金属配線が基板上、あるいは基板中に配置されていることを特徴とする半導体装置を提供する。

【0012】以下に、本発明の具体的な内容について詳細に開示する。本発明における基板の1つの形態において、高熱伝導性物質層が基材の上に積層されており、高熱伝導性物質層と基材との界面に、冷媒を流すための溝が高熱伝導性層側に形成されている。すなわち、高熱伝導性物質層の表面に配置された半導体装置などの発熱体から生じる熱は、高熱伝導性物質層の中を温度勾配が小さいまま伝えられ、物質層裏面に形成された溝を通過する冷媒によって効率よく除去される。

【0013】高熱伝導性物質層としては、熱伝導性は高い方が素子温度を押さえることができ好ましい。その熱伝導率は、高ければ高い程良いが、 $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上あることが適当である。この様な材質を持つ物質としては、天然ダイヤモンド、高圧合成ダイヤモンド、および気相合成ダイヤモンドが挙げられる。これらはいずれも本発明における高熱伝導性物質層として適当であるが、特に気相合成法により得られるダイヤモンドを利用すると、比較的大面積の高熱伝導性物質層が安価に得ることができる。熱伝導率は、一般に温度依存性があり、上記ダイヤモンドは、室温以上の温度領域では温度上昇と共にその熱伝導率は低下する。通常の素子(例えば、半導体素子のような電子素子)を搭載する基板の場合、搭載される素子温度は精々 100°C から 200°C 以下であり、この温度領域で熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上であることが本発明における高熱伝導性物質層においても望ましい。高熱伝導性物質層の厚さは、少なくとも $30\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $70\mu\text{m}$ 以上あることが好まし

5

い。高伝導性物質層の厚さの上限は、通常、10mm、例えば5mmである。高熱伝導性物質は、半導電性または導電性であってもよいが、絶縁性であることが好ましい。高熱伝導性物質の抵抗率は、 $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上、より好ましくは $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であることが好ましい。

【0014】溝については、典型的には、その断面形状は長方形である。高熱伝導性物質層に存在する溝については、その深さは深いほど熱交換率は上昇するが、あまり深すぎるとその機械強度が弱くなるので好ましくない。具体的には、溝の深さ(c)は20μm以上、より好ましくは50μm以上である。溝の深さ(c)は、高熱伝導性物質層の膜厚の90%以下、より好ましくは80%以下、例えば70%以下が好ましい。また、溝の幅(a)は広いほど熱交換率は上昇するが、そのかわり基材に接する部分の強度を保つために溝の数が少なくなるために広すぎても逆に熱交換率は悪くなる。一方、溝の間隔(b)についても幅と同様なことがいえ、広すぎても狭すぎても良くない。溝の幅(a)および間隔(b)は、20μm以上10mm以下、より好ましくは40μm以上2mm以下、更により好ましくは50μm以上2mm以下であることが望ましい。幅(a)と間隔(b)の長さの比(a/b)の範囲について、下限は、0.02、より好ましくは0.04であり、一方、上限は、5.0、より好ましくは2.5であることが望ましい。幅(a)と深さ(c)の長さの比(a/c)の範囲について、下限は、0.05、より好ましくは0.1であり、一方、上限は1.00、より好ましくは5.0であることが望ましい(図7参照)。

【0015】但し、最適な幅、間隔については、放熱基板上に搭載される素子に依存する。なお、溝の形状としては、断面が長方形である必要はなく、半円形、半楕円形やさらに複雑な形状をとりうる。また、1つの基板中で、上記のa, b, cの値が一定である必要はなく、上に示した条件の中で変化させうる。溝によって占められる高熱伝導性物質層の表面の割合は、高熱伝導性物質層の表面の面積に対して、基板の場合に通常、2~90%、好ましくは10~80%である。溝の側面が高熱伝導性物質層表面に対する鉛直線となす角度(テーパ角)は、30°以下であることが好ましい。

【0016】この冷媒の通過すべき溝は、本基板上に設置される半導体素子などの発熱体の配置に応じて適宜形成することができる。搭載される半導体素子などの発熱体により、最も発熱する部分、あるいは最も低温であることが要求される部分が最も効率的に冷却されるように溝を形成することが望ましい。具体的には、最も冷却したい部分に冷媒が最も多く通過する様に溝を配置する。溝の断面形状を複雑にし、溝の表面積を大きくすることによっても冷却効率を上げることができる。また、冷媒の導入口付近は最も冷媒の温度も低いので、冷却効

6

率が高くなる。従って、発熱体の発熱量分布がほぼ均等である場合、中央部分が最も温度が高くなるので、中央部に導入口を設け、そこから螺旋状、あるいは放射線状に冷媒溝を配置すると効率的でよい。

【0017】溝は、高熱伝導性物質層を形成した後に、該物質層をレーザー加工(例えば、エキシマレーザーを使用する)すること、エッチング法により加工することなどによって形成することができる。溝の表面に、厚さ1nm以上1μm以下の非ダイヤモンドの炭素成分(例えば、グラファイト、非結晶質カーボン)から成る層が存在してよい。非ダイヤモンド層は、非酸化雰囲気(例えば、不活性ガス雰囲気)において、高熱伝導性物質層を1000~1500℃に30分~10時間(例えば、1時間)加熱することによって、形成することができる(この場合には、溝以外の高熱伝導性物質層の表面にも非ダイヤモンド層が形成されるが、これは、研磨などによって除去することができる。)。非ダイヤモンド層の有無は、ラマン分光法によって測定することが可能である。

【0018】溝の表面において、冷媒に対する濡れ性が良好であることが好ましい。接触角は、通常65°以下、より好ましくは60°以下であることが好ましい。ダイヤモンドの表面には、水素原子が存在するので、このままの状態では、水などの冷媒をはじく。そこで、水素原子に代えて、酸素原子を含む親水基(例えば、OH基)をつけることによってダイヤモンド層表面の親水性を上げることができる。溝の表面の濡れ性の向上するには、例えば、酸化雰囲気(例えば、大気雰囲気)において、500~800℃で10分~10時間アニールするか、またはあるいは酸素または酸素を含む気体のプラズマで処理すればよい。溝を形成する方法として酸素プラズマを使用する場合には、幾分親水性が上がっていると考えられるが、さらに上記の濡れ性向上の操作を行ってよい。さらに、溝の表面の冷媒に対する濡れ性を改善する処理としては、上記の他、窒素、ホウ素あるいは不活性ガス等を含むガス中でのプラズマ処理を挙げることができる。

【0019】溝を形成した後に、高熱伝導性層を基材に貼り合わせる。貼り合わせは、金属または接着剤などで行ってよい。金属層または接着剤層の厚さは、通常0.01~10μmである。あるいは張り合わせは、金属などの物質を使用せずに、高熱伝導性層を直接に基材に付着させることによって行ってもよい。

【0020】基材は、例えば、B、Be、Al、Cu、Si、Ag、Ti、Fe、Ni、Mo、W、これらの合金およびこれらの化合物(例えば、炭化物、窒化物)などの物質からできている。基材は、例えば、絶縁性であってよい。基材は、板状であってよい。基材の厚さは、通常0.1~10mm、好ましくは0.5~5mmである。

【0021】素子を基板上に実装する場合に、素子は高

熱伝導物質層の上に配置されることが好ましい。冷媒としては、例えば、水、空気、不活性ガス（例えば、窒素、アルゴンなど）、フルオロカーボン、液体窒素、液体酸素、液体ヘリウムなどを使用する。本発明の基板は、半導体デバイス、例えば、レーザーチップ、MPUなどにおいて有用である。本発明において使用する素子は、半導体素子（例えば、半導体レーザー、MPU（マイクロプロセッサユニット）、IC）であることが好ましい。本発明のような基板を使用した場合に、素子が効率良く冷却され、素子の温度上昇が防止される。素子温度が上昇すると、一般に半導体レーザーの発振波長が長波長側にシフトするが、本発明においては、素子温度が上昇しないので、半導体レーザーの発振波長が長波長側にシフトすることはない。

【0022】さて、以下にこの冷媒の通過する溝を基材と高熱伝導性物質層との界面に有する基板の製造方法について説明する。まず、基材に、冷媒通過溝を持つ高熱伝導性物質層を接着して得る方法について示す。高熱伝導性物質層となる物質を、所望の大きさに用意する。これに、冷媒が通過する溝を配置するには、レーザー光線を利用した加工方法、選択的なエッチングなどが利用できる。レーザー加工は、物質表面にレーザー光線を集光することによって物質の削除加工を行い、溝を表面に形成する。この方法によれば、任意の配置の溝を得ることができる。高熱伝導性物質の表面に、十分なエネルギー密度を持ったレーザー光線を集光し、物質を削除しながら徐々に集光位置を移動させて溝を表面に形成する。レーザー光線としては、YAGレーザー、エキシマレーザーなどが利用できるが、特にエキシマレーザーはその加工精度の点から、任意の深さ、配置の溝を再現性よく形成することができ好ましい。

【0023】レーザー光の波長は、360nm以下、例えば、190～360nmの範囲であることが好ましい。照射する光のエネルギー密度は、 $10 \sim 10^{11} \text{ W/cm}^2$ である。パルス状レーザー光を用い、その1パルス当たりのエネルギー密度が 10^{-1} J/cm^2 以上で、 10^6 J/cm^2 以下の範囲とすることが好ましい。さらに、レーザー発振器より発振される際のレーザー光の広がり角度が $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-1} \text{ mrad}$ とし、レーザー光の発振スペクトルの半値幅を $10^{-4} \sim 1 \text{ nm}$ とすることが好ましい。レーザー光のビーム断面におけるエネルギー分布の均一性は10%以下であることが好ましい。パルスレーザー光を円筒型レンズまたは円筒型ミラーにより集光することによって、良好な加工の結果を得る。このようなエキシマレーザーによる表面溝加工において、適当な雰囲気中で加工を行うことによって、ダイヤモンド表面の改質を行うことができ、冷媒との濡れ性をも改善することが可能となる。例えば、含アミノ基化合物（例えばアンモニア、ヒドラジンなど）雰囲気中において上記の加工を行うことによって、形成された溝の表面にアミノ基が導入

され、親水性を向上させることが可能である。

【0024】一方、エッチング法による表面溝加工は、以下のように行うことができる。即ち、適当なマスクを高熱伝導性物質層上に形成した後、マスクはエッチングせず、高熱伝導性物質のみをエッチングする条件で処理する。その後マスクを除去して、表面に溝を持った高熱伝導性物質層が得られる。ダイヤモンド上にマスク材料としてAl、あるいは SiO_2 を形成し、酸素あるいは酸素を含むガスによりダイヤモンドを選択的にエッチングすることができると知られており（第53回応物理学会予稿集第二分冊第411頁参照）、この技術を利用してダイヤモンド上に溝加工ができる。また、酸素あるいは酸素を含むガスの代わりに、窒素または水素を利用してもよい。

【0025】こうして所望の溝を形成した高熱伝導性物質層を、別途用意した基材に貼り付けすることにより、非常に大きな放熱効率を有する基板を得ることができる。基材には、別途上記層に設けた溝に通すべき冷却媒体を導入する出入口を設けておく。

【0026】高熱伝導性物質層と基材との張り付けは、メタライズ処理によって、あるいは接着剤によって、行うことができる。結合する2つの面を公知の方法でメタライズ処理し、金属を溶融させることによって行つてよい。メタライズ処理で使用する金属の例は、Ti、Pt、Au、Sn、Pb、In、Agなどである。接着剤（例えば、Ag/エポキシ系、Ag/ポリイミド系、Au/エポキシ系）あるいはAg系ろう剤、および他の接着方法を使用してよい。接着剤層の厚さは、通常 $0.01 \sim 10 \mu\text{m}$ である。

【0027】また、高熱伝導性物質層として、気相合成法により合成されたダイヤモンドを利用する場合、溝を形成するのにレーザー光線、エッチング法などによる加工ではなく、マスクによる選択成長を使用することができる。これは、例えば特開平1-104761号公報、特開平1-123423号公報等に開示されている。基材（例えば、Si、SiC、Cu、Mo、cBN等）の表面に、マスク材を形成したい溝と対応する形状に配置しておき、その上に気相合成法によりダイヤモンドを積層させればよい。この時、 $50 \mu\text{m}$ 以上ダイヤモンドを成長させることにより、ダイヤモンドがマスクの上部にも横方向成長し、結果として全面を覆うようになる。その後、基材を溶解などの方法で除去すれば、取り出されるダイヤモンドは基材面側に溝を有している。マスクは、Ti、 SiO_2 、Mo等を公知の方法で形成すればよい。この方法の利点は、ダイヤモンドを成長させた後に衝撃を与える必要がないので、加工中の破損などが生じにくいことが挙げられる。

【0028】上記の方法において、マスクを形成する代わりに、板状材料そのものを加工し、溝と対応する形状に凸凹を設けておき、その上に気相合成法によりダイ

10

20

30

40

50

モンドを成長させることもできる。所望の厚さに成長させた後、板状材料を除去すると、板状材料面側には溝を有するダイヤモンド自立膜を得ることができる。板状材料としては、例えば、Si、SiC、Moなどが挙げられる。

【0029】さらに、高熱伝導性物質層として気相合成ダイヤモンドを使う場合には、上記の方法を發展させ、接着の工程を省略することもできる。即ち、基材の上に、まずマスクをつけ、その上に気相合成ダイヤモンドを成長させた後、マスクのみを溶解する事により、基材とダイヤモンドの界面のダイヤモンド側に冷媒の通過する溝を有する基板を得ることができる。この方法によれば、接着材を使用する必要がないため、基板全体の放熱効率をさらに上げることができる。このような基材としては、Si、SiC、Cu、Moが好ましい。

【0030】前記のいずれの方法も高熱伝導性物質層／基材の界面の高熱伝導性層側に溝を有する基板の製造に有効である。エッチングによる方法は、微細な溝を精度良く形成することができる。レーザー加工による方法は、その形成速度が速い。また、選択成長による方法（マスクを使用する方法）は、比較的大きな溝を形成するのが容易である。

【0031】本発明における基板の他の形態において、流路の上下方向と横方向は、高熱伝導性物質によって包囲されている。すなわち、基板の表面に配置された素子（例えば、半導体素子）から生じる熱は、高熱伝導性物質の中を温度勾配が小さいまま伝えられ、流路を通過する冷媒によって効率よく除去される。

【0032】高熱伝導性物質としては、熱伝導性は高い方が素子温度を押さえることができ好ましい。その熱伝導率は、高ければ高い程良いが、 $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上あることが適当である。この様な材質を持つ物質としては、天然ダイヤモンド、高圧合成ダイヤモンド、および気相合成ダイヤモンドが挙げられる。これらはいずれも本発明における高熱伝導性物質として適当であるが、特に気相合成法により得られるダイヤモンドを利用すると、比較的大面積の高熱伝導性物質が安価に得ることができる。熱伝導率は、一般に温度依存性があり、上記ダイヤモンドは、室温以上の温度領域では温度上昇と共にその熱伝導率は低下する。通常の電子素子を搭載する基板の場合、搭載される素子温度は精々 100°C から 200°C 以下であり、この温度領域で熱伝導率が $10\text{ W/cm}\cdot\text{K}$ 以上であることが本発明における高熱伝導性物質においても望ましい。基板の厚さは、 $30\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $70\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。基板の厚さの上限は、通常、 10 mm 、例えば 5 mm である。高熱伝導性物質は、半導電性または導電性であってもよいが、絶縁性であることが好ましい。高熱伝導性物質の抵抗率は、 $1\times 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ 以上、より好ましくは $1\times 10^9\Omega\cdot\text{cm}$ 以上であることが好ましい。

【0033】流路については、典型的には、その断面形状は長方形である。流路の高さは大きければ大きいほど熱交換率は上昇するが、あまり大きすぎるとその機械強度が弱くなるので好ましくない。具体的には、流路の高さ(c)は $20\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $50\mu\text{m}$ 以上である。流路の高さ(c)は、基板の厚さの90%以下、より好ましくは80%以下、例えば70%以下が好ましい。また、流路の幅(a)は広いほど熱交換率は上昇するが、基板の強度を保つために流路の数が少なくなるために広すぎても逆に熱交換率は悪くなる。一方、流路の間隔(b)についても幅と同様なことがいえ、広すぎても狭すぎても良くない。流路の幅および間隔は、 $20\mu\text{m}$ 以上 10 mm 以下、より好ましくは $40\mu\text{m}$ 以上 2 mm 以下、更により好ましくは $50\mu\text{m}$ 以上 2 mm 以下であることが望ましい。幅(a)と間隔(b)の比(a/b)の範囲について、下限は、0.02、より好ましくは0.04であり、一方、上限は、50、より好ましくは25であることが望ましい。幅(a)と高さ(c)の比(a/c)の範囲について、下限は、0.05、より好ましくは0.1であり、一方、上限は100、より好ましくは50であることが望ましい。

【0034】但し、最適な幅、間隔、高さについては、基板上に搭載される素子に依存する。なお、流路の形状としては、断面が長方形である必要はなく、半円形、半楕円形やさらに複雑な形状をとりうる。また、1つの基板中で、上記のa, b, cの値が一定である必要はなく、上に示した条件の中で変化させうる。流路によって占められる基板の表面の割合（基板の平面に対して垂直方向にみた場合に流路が基板表面に占める面積の割合）は、2~90%、好ましくは10~80%である。流路の側面が基板の表面に対する鉛直線となす角度（テーパ角）は、 30° 以下であることが好ましい。

【0035】流路は、基板上に設置される電子素子の配置に応じて適宜形成することができる。搭載される電子素子により、最も発熱する部分、あるいは最も低温であることが要求される部分が最も効率的に冷却されるように流路を形成することが望ましい。具体的には、最も冷却したい部分に冷媒が最も多く通過する様に流路を配置する。流路の断面形状を複雑にし、流路の表面積を大きくすることによっても冷却効率を上げることができる。また、冷媒の導入口付近は最も冷媒の温度も低いので、冷却効率が高くなる。従って、電子素子の発熱量分布がほぼ均等である場合、中央部分が最も温度が高くなるので、中央部に導入口を設け、そこから螺旋状、あるいは放射線状に冷媒流路を配置すると効率的でよい。

【0036】流路の表面に、厚さ 1 nm 以上 $1\mu\text{m}$ 以下の非ダイヤモンドの炭素成分（例えば、グラファイト、非結晶質カーボン）から成る層が存在してよい。非ダイヤモンド層は、非酸化雰囲気（例えば、不活性ガス雰囲気）において、高熱伝導性物質膜を $1000\sim 1500$

11

℃に30分～10時間(例えば、1時間)加熱することによって、形成することができる(この場合には、流路以外の基板の表面にも非ダイヤモンド層が形成されるが、これは、研磨などによって除去することができる。)。非ダイヤモンド層の有無は、ラマン分光法によって測定することが可能である。

【0037】流路の表面において、冷媒に対する濡れ性が良好であることが好ましい。接触角は、通常65°以下、より好ましくは60°以下であることが好ましい。ダイヤモンドの表面には、水素原子が存在するので、このままの状態では、水などの冷媒をはじく。そこで、水素原子に代えて、酸素原子を含む親水基(例えば、OH基)をつけることによってダイヤモンド膜表面の親水性を上げることができる。

【0038】流路の表面の濡れ性の向上するには、例えば、酸化雰囲気(例えば、大気雰囲気)において、500～800℃で10分～10時間アニールするか、またはあるいは酸素または酸素を含む気体のプラズマで処理すればよい。流路を形成する方法として酸素プラズマを使用する場合には、幾分親水性が上がっていると考えられるが、さらに上記の濡れ性向上の操作を行ってよい。

【0039】さらに、流路の表面の冷媒に対する濡れ性を改善する処理としては、上記の他、窒素、ホウ素あるいは不活性ガス等を含むガス中でのプラズマ処理を挙げることができる。

【0040】冷媒としては、例えば、水、空気、不活性ガス(例えば、窒素、アルゴンなど)、フルオロカーボン、液体窒素、液体酸素、液体ヘリウムなどを使用する。本発明において使用する素子は、半導体素子、例えば、半導体レーザーチップ、MPU(マイクロプロセッサユニット)、ICであることが好ましい。本発明のような基板を使用した場合に、素子が効率よく冷却され、素子の温度上昇が防止される。素子温度が上昇すると、一般に半導体レーザーの発振波長が長波長側にシフトするが、本発明においては、素子温度が上昇しないので、半導体レーザーの発振波長が長波長側にシフトすることはない。

【0041】さて、以下に、高熱伝導性物質によって包囲されている流路を有する基板の製造方法について説明する。基板は、例えば、レーザー加工などにより、基板に直接に穴をあけて流路を形成することによって形成できる。また、基板は、1枚の膜に溝を形成した後、他の膜を貼り合わせることも可能である。

【0042】前者の方法では、まず所望の形状の高熱伝導性物質からなる板を用意し、この側面にレーザー光線を集光することにより、穴加工を施し、高熱伝導性物質板の内部に冷媒を通過させる流路を形成する。

【0043】第1高熱伝導性物質膜と第2高熱伝導性物質膜との貼り合わせによって得る方法を以下に示す。第1高熱伝導性物質膜には、流路になる溝が形成されてお

12

り、第2高熱伝導性物質膜には溝が形成されていない。高熱伝導性物質からなる膜を所望の大きさに用意する。第1高熱伝導性物質膜の片面に、完成時に内部に埋め込まれるべき流路をレーザー光線による加工方法、選択的なエッチングによる加工方法等によって形成する。

【0044】レーザー加工は、物質表面にレーザー光線を集光することによって物質の削除加工を行い、溝を表面に形成する。この方法によれば、任意の配置の流路を得ることができる。高熱伝導性物質の表面に、十分なエネルギー密度を持ったレーザー光線を集光し、物質を削除しながら徐々に集光位置を移動させて溝を表面に形成する。レーザー光線としては、YAGレーザー、エキシマレーザーなどが利用できるが、特にエキシマレーザーはその加工精度の点から、任意の深さ、配置の流路を再現性よく形成することができ好ましい。

【0045】レーザー光の波長は、360nm以下、例えば、190～360nmの範囲であることが好ましい。照射する光のエネルギー密度は、 $10 \sim 10^{11} \text{ W/cm}^2$ である。パルス状レーザー光を用い、その1パルス当たりのエネルギー密度が 10^{-1} J/cm^2 以上で、 10^6 J/cm^2 以下の範囲とすることが好ましい。さらに、レーザー発振器より発振される際のレーザー光の広がり角度が $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-1} \text{ mrad}$ とし、レーザー光の発振スペクトルの半値幅を $10^{-4} \sim 1 \text{ nm}$ とすることが好ましい。レーザー光のビーム断面におけるエネルギー分布の均一性は10%以下であることが好ましい。パルスレーザー光を円筒型レンズまたは円筒型ミラーにより集光することによって、良好な加工の結果を得る。このようなエキシマレーザーによる表面溝加工において、適当な雰囲気中で加工を行うことによって、ダイヤモンド表面の改質を行うことができ、冷媒との濡れ性をも改善することが可能となる。例えば、含アミノ基化合物(例えばアンモニア、ヒドラジンなど)雰囲気中において上記の加工を行うことによって、形成された溝の表面にアミノ基が導入され、親水性を向上させることが可能である。

【0046】一方、エッチング法による流路形成は、以下のように行うことができる。即ち、適当なマスクを高熱伝導性物質膜上に形成した後、マスクはエッチングせず、高熱伝導性物質のみをエッチングする条件で処理する。その後マスクを除去して、表面に溝を持った第1高熱伝導性物質膜が得られる。ダイヤモンド上にマスク材料としてAl、あるいは SiO_2 を形成し、酸素あるいは酸素を含むガスによりダイヤモンドを選択的にエッチングすることができると知られており(第53回応用物理学会予稿集第二分冊第411頁参照)、この技術を利用してダイヤモンド上に溝加工ができる。また、酸素あるいは酸素を含むガスの代わりに、窒素または水素を利用してよい。

【0047】こうして所望の溝を形成した第1高熱伝導性物質膜を、別途用意した第2高熱伝導性物質膜に貼り

10

20

30

40

50

13

付けすることにより、非常に大きな放熱効率を有する基板を得ることができる。第2高熱伝導性物質膜には、別途、流路に通すべき冷却媒体を導入する出入口を設けておいてよい。

【0048】第1高熱伝導性物質膜にのみ、溝を形成する方法を上記に示したが、第2高熱伝導性物質膜にも溝を形成し、双方の溝を有する面同士を貼り合わせることもできる。但し、この場合工程が複雑になるため、上記第1高熱伝導性物質膜のみに溝を形成する方が好ましい。

【0049】第1高熱伝導性物質膜と第2高熱伝導性物質膜との貼り付けは、メタライズ処理によって、あるいは接着剤によって、行うことができる。結合する2つの面を公知の方法でメタライズ処理し、金属を溶融させることによって行ってよい。メタライズ処理で使用する金属の例は、Ti、Pt、Au、Sn、Pb、In、Agなどである。接着剤（例えば、Ag/エポキシ系、Ag/ポリイミド系、Au/エポキシ系）あるいはAg系ろう剤、および他の接着方法を使用してよい。接着剤層の厚さは、通常0.01~10 μm である。

【0050】また、高熱伝導性物質膜として、気相合成法により合成されたダイヤモンドを利用する場合、溝を形成するのにレーザー光線、エッチング法などによる加工ではなく、マスクによる選択成長を使用することができる。これは、例えば特開平1-104761号公報、特開平1-123423号公報等に開示されている。基材（例えば、Si、SiC、Cu、Mo、cBN等）の表面に、マスク材を形成したい溝と対応する形状に配置しておき、その上に気相合成法によりダイヤモンドを積層させればよい。この時、50 μm 以上ダイヤモンドを成長させることにより、ダイヤモンドがマスクの上部にも横方向成長し、結果として全面を覆うようになる。その後、基材を溶解などの方法で除去すれば、取り出されるダイヤモンドは基材面側に溝を有している。マスクは、Ti、SiO₂、Mo等を公知の方法で形成すればよい。この方法の利点は、ダイヤモンドを成長させた後に衝撃を与える必要がないので、加工中の破損などが生じにくいことが挙げられる。

【0051】上記の方法において、マスクを形成する代わりに、板状材料そのものを加工し、溝と対応する形状に凸凹を設けておき、その上に気相合成法によりダイヤモンドを成長させることもできる。所望の厚さに成長させた後、板状材料を除去すると、板状材料面側には溝を有するダイヤモンド自立膜を得ることができる。板状材料としては、例えば、Si、SiC、Moなどが挙げられる。

【0052】さらに、高熱伝導性物質膜として気相合成ダイヤモンドを使う場合には、上記の方法を進展させ、接着の工程を省略することもできる。即ち、ダイヤモンド膜の上に、まずマスクをつけ、その上に気相合成ダイ

14

ヤモンドを成長させた後、マスクのみを溶解する事により、流路を有する基板を得ることができる。この方法によれば、接着材を使用する必要がないため、基板全体の放熱効率をさらに上げることができる。

【0053】前記のいずれの方法も流路を有する基板の製造に有効である。エッチングによる方法は、微細な溝を精度良く形成することができる。レーザー加工による方法は、その形成速度が速い。また、選択成長による方法（マスクを使用する方法）は、比較的大きな溝を形成するのが容易である。

【0054】こうして得た基板に、レーザー光線による穴あけ加工によって穴を形成する。この穴は、上記基板を作製する段階で、例えば選択成長や、エッチングなどによっても得ることができる。この穴の中や基板上に適宜電氣的配線を形成する。電氣的配線を有する基板を複数枚積み重ねて、半導体装置を得る。基板間の電気接続は、穴の中の電気配線によって行われる。半導体装置における基板の数は、少なくとも2以上である。基板の数は、200以下、例えば、50以下であってよい。そして、半導体装置の一部分、例えば、基板の側面から、各基板の流路に冷媒を流す。

【0055】以下、添付図面を参照して、本発明を説明する。図1は、本発明における溝付高熱伝導性物質層の概念を示す平面図である。高熱伝導性物質層11には、溝が形成されていない表面が櫛型状になるように、溝12が設けられている。図2は、本発明における放熱基板の正面図である。放熱基板16は、高熱伝導性物質層11、基材13および接着剤層15を有してなる。基材13には、溝12と連絡する2つの冷媒出入口14が設けられている。基材13における冷媒出入口14の大きさおよび数は、特に限定されない。例えば、溝の両端に対応する基材の部分のそれぞれに、冷媒出入口が存在してよい。

【0056】図3は、本発明における溝付高熱伝導性物質層の概念を示す平面図である。高熱伝導性物質層21には、らせん状に溝22が形成されている。図4は、本発明には含まれない比較例1の溝付A1N層の概念を示す平面図である。A1N層31には、図1と同様の形状の溝32が形成されている。図5は、本発明には含まれない比較例1における溝付A1N層を使った放熱基板の正面図である。放熱基板36は、A1N層31、基材33および接着剤層35を有してなる。基材33には、溝32と連絡する2つの冷媒用出入口34が設けられている。

【0057】図6は、本発明には含まれない比較例2における従来型放熱基板の概念を示す側面図である。基板46は、溝の形成されていないダイヤモンド層41、基材43および接着剤層45を有してなる。図7は、本発明における高熱伝導性物質層に形成される溝を示す断面図である。溝12は、幅aおよび深さcを有しており、

15

間隔bで形成されている。

【0058】図8は、ダイヤモンドおよび非ダイヤモンド炭素のラマンスペクトルを示す。曲線aは、ダイヤモンドのスペクトルであり、 1333 cm^{-1} に強いピークを有する。曲線bは、非ダイヤモンド炭素を多く含む物質のスペクトルであり、ブロードな2つのピークを有する。図9は、高熱伝導性物質が流路周囲を包囲している本発明の基板を示す平面図である。基板111には流路112が形成されており、流路112は基板内部に埋め込まれている。

【0059】図10は、図9の基板の正面図である。基板111は、流路112が形成されている第1高熱伝導性物質膜113、第2高熱伝導性物質膜114および接着剤層115を有してなる。流路112は、2つの冷媒出入口116に接続している。冷媒出入口116は、このような位置になくてもよく、第1高熱伝導性物質膜113または第2高熱伝導性物質膜114の主表面に設けられていてもよい。冷媒出入口の大きさおよび数は、特に限定されない。

【0060】図11は、高熱伝導性物質が流路を包囲している本発明の別の基板を示す平面図である。基板121には、放射状に流路122が形成されている。放射状流路122を包囲するように、流路122に接続する別の流路123がある。流路122は冷媒入口124に接続し、流路123は冷媒出口125に接続している。図12は、本発明における基板に形成される流路を示す断面図である。流路112は、幅aおよび高さcを有しており、間隔bで形成されている。

【0061】図13は、本発明の半導体装置（3次元IC基板）を示す斜視図である。半導体装置210は、4つの基板201を有する。それぞれの基板201は、ダイヤモンドからできており、図9に示す基板と同様のものである。それぞれの基板201には、2つの冷媒出入口206、および9個のIC209がある。図14は、図13の半導体装置の一部分の断面図である。図14には、2つの基板201が見えている。基板201の上には、IC（電子素子）209および金属配線208がある。金属配線（例えば、Au）208は、ビアホール204およびハンダバンプ205を介して、他の基板上にある金属配線208に接続されている。基板201は、冷却媒体が通過する流路202を有する。図15は、高熱伝導性物質が流路を包囲している本発明における他の基板を示す平面図である。高熱伝導性物質221には、渦巻状に、流路222が埋め込まれている。

【0062】

【実施例】以下、実施例により、具体的に本発明を開示する。

実施例1

CVD、レーザー溝入れ、貼り付け：傷つけ処理をした多結晶Si基材（ $1.0\text{ mm} \times 1.0\text{ mm} \times$ 厚さ 2 mm ）上に、マイ

16

クロ波プラズマCVD法によりダイヤモンドを成長させた。成長条件は、メタン1%-水素系で、圧力 80 Torr 、基材温度は 900°C であった。400hrの成長の後、成長面を研磨し、Si基板を酸により溶解したところ、 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times$ 厚さ 0.5 mm のダイヤモンド自立膜を得た。熱伝導率を測定したところ $17.2\text{ W/cm} \cdot \text{K}$ であった。

【0063】上記のようにして得たダイヤモンド自立膜の片面に、KrFエキシマレーザーを線集光および点集光し、図1の様な溝を形成した。溝の深さは約 $150\text{ }\mu\text{m}$ 、幅約 $500\text{ }\mu\text{m}$ 、間隔は約 $400\text{ }\mu\text{m}$ であった。両者にTi、PtおよびAuを蒸着した後、Auを溶解することにより、溝付ダイヤモンドをCuW合金上に接着した。Ti/Pt/Au/Pt/Ti層の厚さは $0.1\text{ }\mu\text{m}$ であった。CuW合金には、あらかじめダイヤモンドの溝に導入する冷媒の出入口（直径： $400\text{ }\mu\text{m}$ ）を設けてある（図2）。

【0064】以上のようにして作製した溝入りダイヤモンド/CuW基板の溝に、冷却用水（水温 25°C ）を供給した。ダイヤモンドの表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、 0.014°C/W であった。溝入り基板のダイヤモンド層上に赤外線発光レーザー半導体素子（ $1\text{ mm} \times 1\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ ）（出力密度 5.3 W/cm^2 ）を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作製した。ダイヤモンド表面には、金属（Au）による配線を通常のパターニングにより形成した。レーザー素子搭載装置の溝に、冷却用水（水温 25°C ）を供給した。レーザー素子を発振させたところ、長時間にわたり変化（特に、発振波長の変化）はみられなかった。

【0065】実施例2

高圧合成、溝入れレーザー、貼り付け：高温高圧下で合成したIb型ダイヤモンド（ $8\text{ mm} \times 8\text{ mm} \times$ 厚さ 0.6 mm 、熱伝導率 $18.3\text{ W/cm} \cdot \text{K}$ ）を用いて、実施例1と同様に溝入りダイヤモンド/CuW基板を作製した。但し、ダイヤモンドに形成する溝は、ArFエキシマレーザーを使用し、深さ約 $200\text{ }\mu\text{m}$ 、幅約 $350\text{ }\mu\text{m}$ 、間隔約 $400\text{ }\mu\text{m}$ であった（図3）。基材には、冷媒の出入口として、2箇所穴（直径約 $350\text{ }\mu\text{m}$ の円形）をKrFエキシマレーザーを点集光して加工した。

【0066】こうして作製した溝入りダイヤモンド/CuW基板の溝に、実施例1と同様に冷却用水（水温 25°C ）を供給した。この時、ダイヤモンドの表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、 0.021°C/W であった。基板のダイヤモンド層上に赤外線発光レーザー半導体素子（ $1\text{ mm} \times 1\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ ）（出力密度 5.3 W/cm^2 ）を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作製した。ダイヤモンド表面には、金属（Au）による配線を通常のパターニングにより形成した。レーザー素子搭載装置の溝に、冷却用水（水温 25°C ）を供給した。レーザー素子を発振させたところ、長時間に

10

20

30

40

50

17

わたり変化（特に、発振波長の変化）はみられなかった。

【0067】比較例1

A1N、溝有り：A1N基材(10mm×10mm×0.5mm、熱伝導率1.9W/cm・K)の片面に、上記実施例1と同様にKrFエキシマレーザーを使用して、光線を線集光して溝を形成した(図4)。溝の深さは約150μm、幅は約500μm、間隔は約400μmであった。この溝付A1Nを、CuW合金上に接着した。CuW合金には、あらかじめA1Nの溝に導入する冷媒の出入口を設けてある(図5)。以上のようにして作製した溝入りA1N/CuW基板の溝に、冷却用水(水温25℃)を供給した。この時、A1Nの表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、0.098℃/Wであった。

【0068】基板のA1N層上に赤外線発光レーザー半導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作製した。A1N表面には、金属(Au)による配線を通常のパターニングにより形成した。レーザー素子搭載装置の溝に、冷却用水(水温25℃)を供給した。レーザー素子を発振させたところ、発振波長が徐々に長波長側にシフトしていくのが観測された。

【0069】比較例2

CVD、溝なし：実施例1と同様に、気相合成ダイヤモンド10mm×10mm×0.5mmの自立膜(熱伝導率17.2W/cm・K)を作製した。これに、溝を形成することなく、CuW合金に接着した(図6)。こうして作製したダイヤモンド/CuW基板の熱抵抗を、CuW基板裏面に25℃の空気を吹き付けながら測定したところ、3.4℃/Wであった。基板のダイヤモンド層上に赤外線発光レーザー半

18

* 導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、レーザー素子搭載装置を作製した。レーザー素子搭載装置の裏側より25℃の空気を吹き付けながら、レーザー素子を発振させたところ、発振波長が徐々に長波長側にシフトしていくのが観測された。

【0070】比較例3

CVD、溝細すぎ：実施例1と同様に、気相合成ダイヤモンド10mm×10mm×0.5mmの自立膜(熱伝導率17.2W/cm・K)を作製した。これに、KrFエキシマレーザーを利用して、光線を線集光して溝を形成した。溝の深さは約150μm、幅は10μm、間隔は990μmであった。この溝付ダイヤモンドをCuW合金上に接着した。CuW合金には、あらかじめCVDダイヤモンドの溝に導入する冷媒の出入口を設けてあった。

【0071】以上のようにして作製した溝入りダイヤモンド/CuW基板の溝に、冷却用水(水温25℃)を供給した。この時、ダイヤモンドの表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、0.34℃/Wであった。

【0072】基板のダイヤモンド層上に赤外線発光レーザー半導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、レーザー素子搭載装置を作製した。レーザー素子搭載装置の溝に、冷却用水(水温25℃)を供給した。レーザー素子を発振させたところ、発振波長が徐々に長波長側にシフトしていくのが観測された。

【0073】実施例1および2ならびに比較例1～3で得られた結果を表1に示す。

【0074】

【表1】

	実施例1	2	比較例1	2	3
高熱伝導物質層	CVD	高圧合成	A1N	CVD	CVD
熱伝導率	ダイヤモンド	ダイヤモンド		ダイヤモンド	ダイヤモンド
(W/cm・K)	17.2	18.3	1.9	17.2	17.2
厚さ(mm)	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
溝の幅(a)	0.5	0.35	0.5	なし	0.01
(mm)					
間隔(b)	0.4	0.4	0.4	なし	0.99
(mm)					
深さ(c)	0.15	0.2	0.15	なし	0.15
(mm)					
a/b	1.25	0.88	1.25	—	0.01
熱抵抗(℃/W)	0.014	0.021	0.098	3.4	0.34

【0075】実施例3 大気アニール

実施例1と同様にして、図1のような溝入りダイヤモンドを得た。これを600℃で大気中30分アニールした後、実施例1と同様にCuW基材上に貼り付けた。こうして作製した溝入りダイヤモンド/CuW基板の溝に、冷媒の水(水温25℃)を導入した。ダイヤモンド表面から冷

* 媒の間の熱抵抗を調べたところ、0.012℃/Wであった。溝入り基板のダイヤモンド層上に赤外線発光レーザー半導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作製した。レーザー素子搭載装置の溝に、冷却用水(水温25℃)を供給した。レーザー素子

を共振させたところ、長時間にわたり変化（特に、共振波長の変化）はみられなかった。

【0076】実施例4 真空アニール

実施例1と同様にして、図1のような溝入りダイヤモンドを得た。これを、1200℃で真空中30分アニールした。この試料に対し、ラマンスペクトル測定を行ったところ図8のbに示すように非ダイヤモンド成分を示すピークがみられた。この後、実施例1と同様にCuW基板上に貼り付けた。こうして作製した溝入りダイヤモンド/CuW基板の溝に、冷媒の水（水温25℃）を導入した。ダイヤモンド表面から冷媒の間の熱抵抗を調べたところ、0.011℃/Wであった。溝入り基板のダイヤモンド層上に赤外線発光レーザー半導体素子（1mm x 1mm x 0.5mm）（出力密度5.3W/cm²）を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作製した。レーザー素子搭載装置の溝に、冷却用水（水温25℃）を供給した。レーザー素子を共振させたところ、長時間にわたり変化（特に、共振波長の変化）はみられなかった。

【0077】実施例5

実施例1と同様に作製した溝入り基板のダイヤモンド層上に、MPUチップ（Siチップに膨大な数の回路が形成されている）をTAB技術により電気的な配線を伴って配置した。基板内に形成された流路に冷却水（水温25℃）を流しながら、半導体素子を稼働させたところ、長時間にわたり誤動作なく稼働した。

【0078】実施例6

実施例1と同様にして、図1のような溝入りダイヤモンドを得た。これを、μ波プラズマにより、水素中100 Torr、温度800℃で30分処理した。この試料のラマンスペクトル測定を行った。すると、図8のaに示すようにダイヤモンドの鋭いピークがみられた。この後、実施例1と同様にCuW基板上に貼り付けた。こうして作製した溝入りダイヤモンド/CuW基板の溝に、冷媒の水（水温25℃）を導入した。ダイヤモンド表面から冷媒の間の熱抵抗を調べたところ、0.038℃/Wであった。

【0079】実施例7

CVD、レーザー流路入れ、貼り付け：傷つけ処理をした多結晶Si基材（10mm x 10mm x 厚さ2mm）を2枚用意し、その上にマイクロ波プラズマCVD法によりダイヤモンドを成長させた。成長条件は、メタン1%-水素系で、圧力80 Torr、基材温度は900℃であった。1枚は250hr、もう1枚は200hrの成長の後、成長面を研磨し、Si基材を酸により溶解したところ、10mm x 10mm x 厚さ0.3mmおよび10mm x 10mm x 0.15mmの2枚のダイヤモンド自立膜を得た。熱伝導率を測定したところ、それぞれ17.2W/cm・K（厚さ0.3mmのもの、第1ダイヤモンド自立膜）および16.9W/cm・K（厚さ0.15mmのもの、第2ダイ

ヤモンド自立膜）であった。

【0080】上記のようにして得た第1ダイヤモンド自立膜（厚さ0.3mmのダイヤモンド自立膜）の片面に、KrFエキシマレーザーを線集光および点集光し、図9の様な溝を形成した。溝の深さは約150μm、幅は約500μm、間隔は約400μmであった。両者にTi、PtおよびAuを蒸着により積層した後、Auを溶融することにより、第1ダイヤモンド自立膜を第2ダイヤモンド自立膜に接着し、基板を作製した（図9および図10）。Ti/Pt/Au/Pt/Ti層の厚さは0.1μmであった。基板は、基板の側面から冷媒を注入、排出できるような出入口を有した。

【0081】以上のようにして作製した基板の第1ダイヤモンド自立膜上に赤外線レーザー半導体素子（1mm x 1mm x 0.5mm）（出力密度5.3W/cm²）を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作成した。ダイヤモンド表面には、金属（Au）による配線を通常のパターニングにより形成した。レーザー素子搭載装置の流路に、冷却用水（水温25℃）を供給した。レーザー素子を共振させたところ、長時間にわたり変化（特に、共振波長の変化）はみられなかった。

【0082】上記のような基板を5枚作製し、各々にLSIチップを5~10個程度実装した。各基板には、エキシマレーザーにより電気配線を取るための穴開け加工を施した。穴の直径は0.1~0.5mmであり、基板内、および表面にはAuにより電気配線を施した。上記の様に作製した5枚の基板を積み重ね、半導体装置を得た。この半導体装置は、従来のAIN基板を利用したMCM基板で搭載できる素子の全発熱量に比べて30倍に相当する素子を実装できた。それぞれの基板の流路に冷媒として水（水温25℃）を供給した。半導体装置は誤動作を起こさず安定に動作した。

【0083】実施例8

実施例7と同様にして、第1ダイヤモンド自立膜および第2ダイヤモンド自立膜を得た。但し、第1ダイヤモンド自立膜に形成される溝は、図11の様に放射状をしている。第1ダイヤモンド自立膜を、真空炉にセットし、1200℃、30分間真空中でアニールした。この自立膜に対し、ラマンスペクトル測定を行ったところ、図8のbに示すように非ダイヤモンド成分を示すピークがみられた。この後、実施例7と同様に、第2ダイヤモンド自立膜を貼り付け、ダイヤモンド基板を得た。

【0084】上記のような基板を5枚作製し、各々にLSIチップを5~10個程度実装した。各基板には、エキシマレーザーにより電気配線を取るための穴開け加工を施した。穴の直径は0.1~0.5mmであり、基板内、および表面にはAuにより電気配線を施した。

【0085】上記の様に作製した5枚の基板を積み重ね、半導体装置を得た。この半導体装置は、従来のAIN基板を利用したMCM基板で搭載できる素子の全発熱

10

20

30

40

50

21

量に比べて30倍に相当する素子を実装できた。それぞれの基板の流路に冷媒として水(水温25℃)を供給した。半導体装置は誤動作を起こさず安定に動作した。

【0086】実施例9

高圧合成、流路入れレーザー、貼り付け：高温高圧下で合成したIb型ダイヤモンド[第1ダイヤモンド自立膜(8mm×8mm×厚さ0.4mm、熱伝導率18.3W/cm・K)および第2ダイヤモンド自立膜(8mm×8mm×厚さ0.2mm、熱伝導率18.3W/cm・K)]を用いて、実施例7と同様に流路入りダイヤモンド基板を作製した。但し、第1ダイヤモンド自立膜に形成する流路は、ArFエキシマレーザーを使用し、深さ約200μm、幅約350μm、間隔約400μmであり、図15に示すようなものであった。第2ダイヤモンド自立膜には、流路に導入する冷媒の出入口として、2箇所穴(直径約350μmの円形)をKrFエキシマレーザーを点集光して加工した。

【0087】こうして作製した基板の流路に、実施例7と同様に冷却用水(水温25℃)を供給した。この時、ダイヤモンドの表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、0.013℃/Wであった。基板の第1ダイヤモンド自立膜上に赤外線レーザー半導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作成した。ダイヤモンド表面には、金属(Au)による配線を通常のパターンニングにより形成した。レーザー素子搭載装置の流路に、冷却用水(水温25℃)を供給した。レーザー素子を発振させたところ、長時間にわたり変化(特に、発振波長の変化)はみられなかった。

【0088】比較例4

AlN、流路あり：第1AlN自立膜(10mm×10mm×厚さ0.5mm、熱伝導率1.8~1.9W/cm・K)の片面に実施例7と同様にKrFエキシマレーザーを使用して、溝を形成した。溝の深さは約150μm、幅は約500μm、間隔は約400μmであった。第1AlN自立膜を第2AlN自立膜(10mm×10mm×厚さ0.3mm、熱伝導率1.8~1.9W/cm・K)と接着し、流路を有する基板を得た。AlN基板の流路に冷却用水(水温25℃)を供給した。この時、AlNの表面から冷却用水の間の熱抵抗を測定したところ、0.088℃/Wであった。

【0089】基板のAlN層上に赤外線レーザー半導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作成した。AlN層表面には、金属(Au)による配線を通常のパターンニングにより形成した。レーザー素子搭載装置の流路に、冷却用水(水温25℃)を供給した。レーザー素子を発振させたところ、発振波長が徐々に長波長側にシフトしていくのが観測された。

【0090】比較例5

22

CVD、流路なし：実施例7と同様に、気相合成ダイヤモンド10mm×10mm×0.5mmの自立膜(熱伝導率17.2W/cm・K)を作製した。この片面に、25℃の空気を吹き付けながら、表面と空気との熱抵抗を測定したところ、2.8℃/Wであった。ダイヤモンド自立膜上に赤外線レーザー半導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作成した。ダイヤモンド自立膜表面には、金属(Au)による配線を通常のパターンニングにより形成した。

レーザー素子搭載装置の裏面に25℃の空気を吹き付けながら、レーザー素子を発振させたところ、発振波長が徐々に長波長側にシフトしていくのが観測された。

【0091】比較例6

CVD、流路細すぎ：実施例7と同様に、気相合成によって、第1ダイヤモンド自立膜(10mm×10mm×0.3mm、熱伝導率17.2W/cm・K)および第2ダイヤモンド自立膜(10mm×10mm×0.15mm、熱伝導率17.2W/cm・K)を作製した。第1ダイヤモンド自立膜に、KrFエキシマレーザーを利用して、図9に示すように、光線を線集光して溝を形成した。溝の深さは約150μm、幅は10μm、間隔は990μmであった。この溝付第1ダイヤモンド自立膜を、第2ダイヤモンド自立膜に接着し、ダイヤモンド基板を作成した。ダイヤモンド基板の流路に、冷却用水(水温25℃)を供給した。この時、ダイヤモンドの表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、0.32℃/Wであった。

【0092】基板の第1ダイヤモンド自立膜上に赤外線レーザー半導体素子(1mm×1mm×0.5mm)(出力密度5.3W/cm²)を搭載し、所定の配線を行って、レーザー素子搭載装置を作成した。ダイヤモンド表面には、金属(Au)による配線を通常のパターンニングにより形成した。レーザー素子搭載装置の流路に、冷却用水(水温25℃)を供給した。レーザー素子を発振させたところ、発振波長が徐々に長波長側にシフトしていくのが観測された。

【0093】実施例10

大気アニール：実施例7と同様に、溝付第1ダイヤモンド自立膜および第2ダイヤモンド自立膜を得た。第1ダイヤモンド自立膜を、大気炉にセットし、600℃、30分間大気中でアニールした。この後、実施例7と同様に、第2ダイヤモンド自立膜を貼り付け、ダイヤモンド基板を得た。上記基板に、冷却用水(水温25℃)を供給した。ダイヤモンド表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、0.01℃/Wであった。実施例7と同様に、レーザー素子搭載装置を得た。基板の流路に、冷媒の水(温度25℃)を導入した。レーザー素子を発振させたところ、長時間にわたり安定に動作し、発振波長の変化などは見られなかった。

【0094】実施例11

23

真空アニール：実施例7と同様にして、溝付第1ダイヤモンド自立膜および第2ダイヤモンド自立膜を得た。第1ダイヤモンド自立膜を、真空炉にセットし、1200℃、30分間真空中でアニールした。この自立膜に対し、ラマンスペクトル測定を行ったところ図8のbに示すように非ダイヤモンド成分を示すピークがみられた。この後、実施例7と同様に、第2ダイヤモンド自立膜を貼り付け、ダイヤモンド基板を得た。

【0095】上記基板に、冷却用水（水温25℃）を供給した。ダイヤモンド表面から冷媒の水の間の熱抵抗を測定したところ、0.01℃/Wであった。実施例7と同様に、レーザー素子搭載装置を得た。基板の流路に、冷媒の水（温度25℃）を導入した。レーザー素子を発振させたところ、長時間にわたり安定に動作し、発振波長の変化などは見られなかった。

【0096】実施例12

実施例7と同様に作製した基板上に、MPUチップ（Siチップに膨大な数の回路が形成されている）がTAB技術により電気的な配線を伴って配置した。基板内に形成された流路に冷却水（水温25℃）を流しながら、半導体素子を稼働させたところ、長時間にわたり誤動作なく稼働した。

【0097】

【発明の効果】本発明による放熱基板は、高い放熱特性を持っている。特に、これまでの基板では対応が困難であった高エネルギー密度のレーザーチップなど、単位面積当たりの発熱量の非常に大きな素子を搭載する場合に、大きな効果を発揮することができる。本発明においては、高い放熱特性を持ち、素子を長時間にわたって安定に動作させる素子搭載装置が得られる。本発明を利用すれば、排熱性に優れ、ひいては実装密度を大幅に上げた半導体装置を得ることができる。これにより、高性能な情報処理機器を小型にかつ安価に提供することができる。

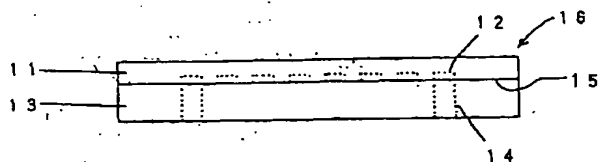
【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明における溝付高熱伝導性物質層の概念を示す平面図。

【図2】 本発明における基板の正面図。

【図3】 本発明における溝付高熱伝導性物質層の概念を示す平面図。

【図2】



24

【図4】 本発明には含まれない比較例1の溝付AIN層の概念を示す平面図。

【図5】 本発明には含まれない比較例1における溝付AIN層を使った放熱基板の正面図。

【図6】 本発明には含まれない比較例2における従来型放熱基板の概念を示す側面図。

【図7】 本発明における高熱伝導性物質層に形成される溝を示す断面図。

【図8】 ダイヤモンドおよび非ダイヤモンド炭素のラマンスペクトル。

【図9】 高熱伝導性物質が流路周囲を包囲する本発明の基板の平面図。

【図10】 図9の基板の正面図。

【図11】 高熱伝導性物質が流路周囲を包囲する本発明の別の基板の平面図。

【図12】 本発明の基板に形成される流路を示す断面図。

【図13】 本発明の半導体装置の斜視図。

【図14】 図13の半導体装置の一部分の断面図。

【図15】 高熱伝導性物質が流路周囲を包囲する本発明における他の基板を示す平面図。

【符号の説明】

11、21、41…高熱伝導性物質層

31…AIN層

12、22、32…冷媒通過用の溝

13、33、43…基材

14、34…冷媒出入口

15、35、45…接着層

16、36、46…基板

30 111、121、201、221…基板

112、122、123、222…冷媒通過用の流路

113…第1高熱伝導性膜

114…第2高熱伝導性膜

115…接着層

116、206…冷媒出入口

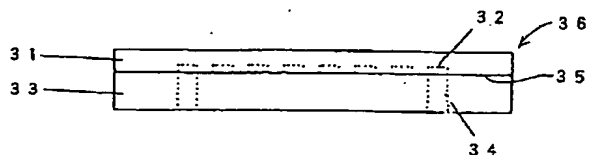
124…冷媒入口

125…冷媒出口

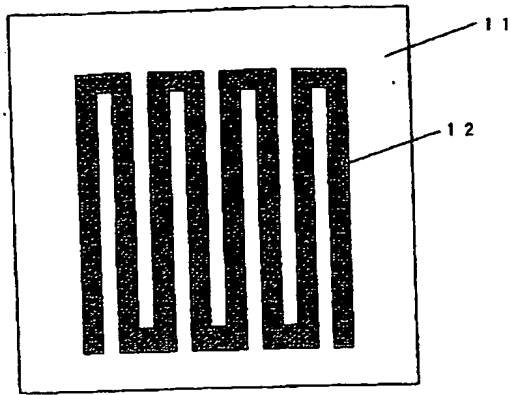
209…IC

210…半導体装置

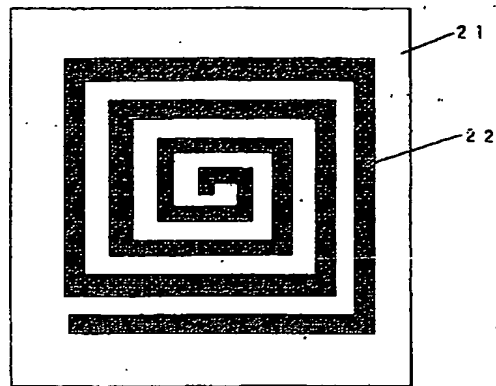
【図5】



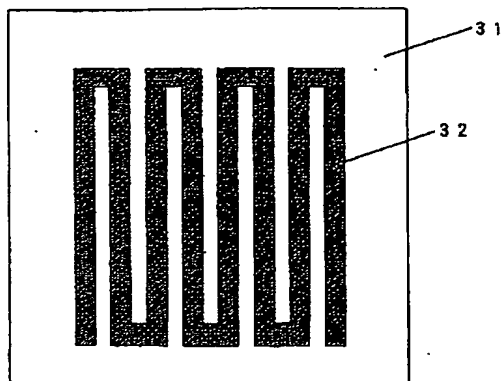
【図1】



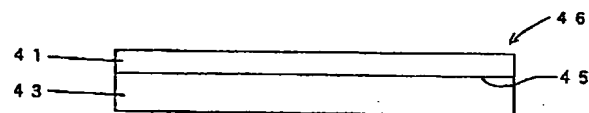
【図3】



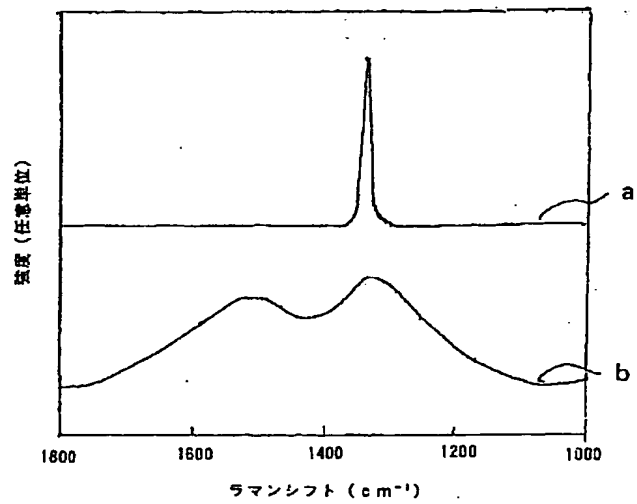
【図4】



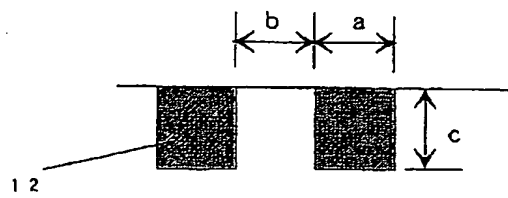
【図6】



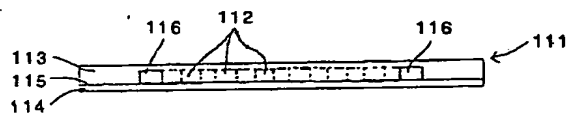
【図8】



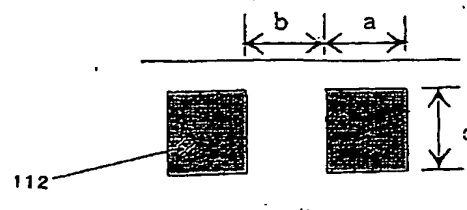
【図7】



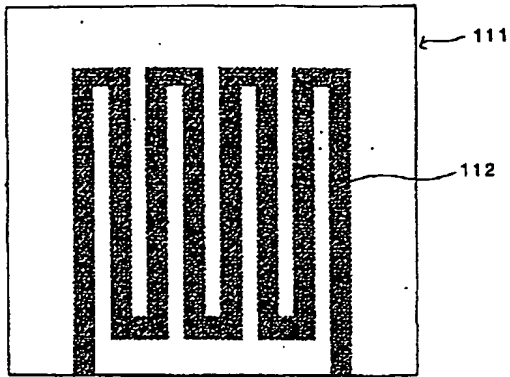
【図10】



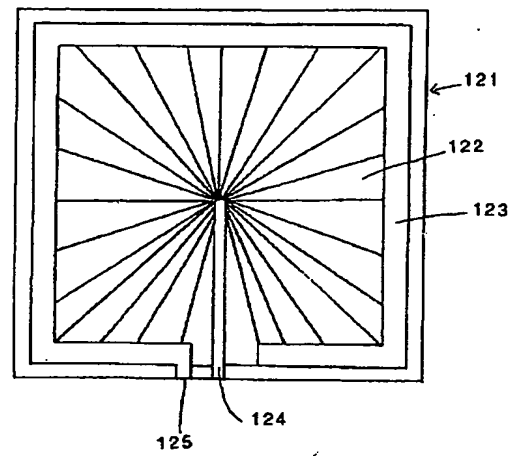
【図12】



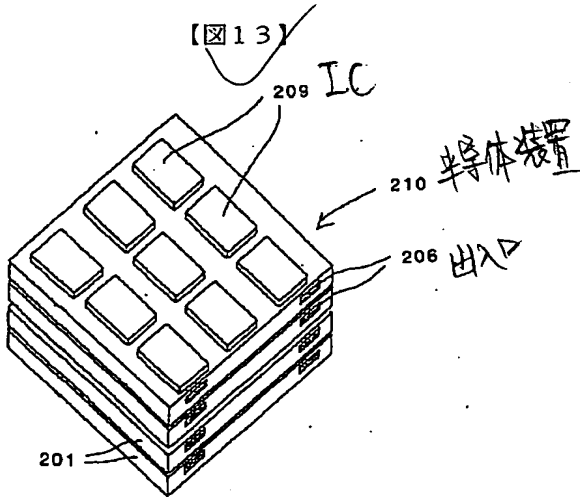
【図9】



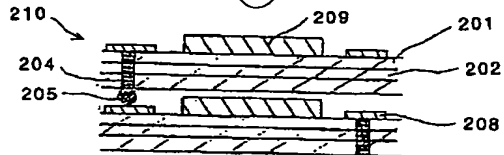
【図11】



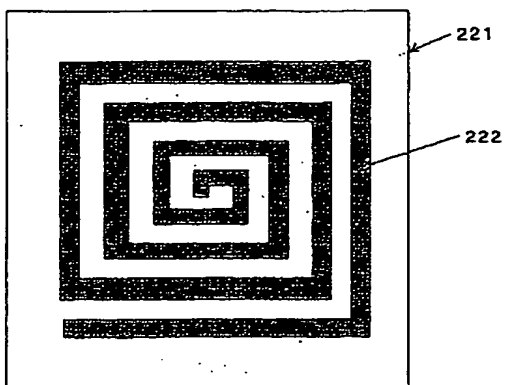
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平6-319978
(32)優先日 平6(1994)12月22日
(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平6-319982
(32)優先日 平6(1994)12月22日
(33)優先権主張国 日本(JP)
(72)発明者 藤森 直治
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内